이동 벡터 모델을 이용한 표층 퇴적물의 이동 경로 분석

김혜진, 추용식, 성효현

한국에스리 사원, 한국해양연구원 선임연구원, 이화여자대학교 교수

1. 서론

해안 퇴적 환경의 가장 기본적인 특징은 퇴적물의 입도 특성을 통해 파악할 수 있다. 퇴적물 특성을 정량적으로 표현하는 대표적인 방법은 입자 크기에 대한 값을 이용하여 평균입도(mean size), 분급도(sorting), 왜도(skewness), 첨도(kurtosis) 등의 퇴적물 입도 조직 변수를 구하여 표현하는 것이다. 퇴적 환경에서 입도 분포는 퇴적물의 이동과 퇴적의 동적 상태를 나타내는 기본적인 정보이다. 표층 퇴적물의 입도 분포가 퇴적 환경보다는 침식, 이동, 퇴적 작용의 결과이므로 입도 분포의 특성은 순수 퇴적물 이동 경향을 나타낸다고 볼 수 있다.

본 연구는 해안 침식의 문제가 심각하게 대두되고 있는 포항 송도지역의 해안 지형 변화의 과정을 표층 퇴적물 분석을 통해 이해하고자 한다. 표층 퇴적물 입도 분포 분석을 주로 다루었던 기존 연구와는 다르게 이동 벡터 모델을 이용하여 표층 퇴적물의 이동 경로를 파악하였다.

2. 선행 연구

최근 퇴적물의 입도 통계 변수로 퇴적물의 연안 이동을 규명하는 연구가 진행되고 있다(Gao and Collins, 1992; 유규철과 오재경, 1999; Chu, 2001). 초기 연구(Pettijohn et al., 1972)에서는 퇴적물 입도 크기가 방향을 따라 감소한다는 세립화(down-drift fining)현상은 보편적으로 적용되지 않는다. 예를 들면 해빈에서 퇴적물이 연안 이동시 세립화(Pettijohn and Ridge, 1932; Self, 1977)와 조립화(McCave, 1978; Nordstorm, 1981) 경향이 모두 나타난다. 따라서 입도 크기 조직변수만으로 이동경로를 정의하는 것은 한계가 있다.

McLaren and Bowles(1985)에 의해 제안된 일차원적 퇴적물 이동 경로 모델은 순수 퇴적물 이동 경로를 평균입도, 분급도, 왜도의 공간적 변화와 관련지었다. 이 모델에 따르면 순수 이동 방향에서 하향지점(downstream site)에서의 퇴적물은 상향지점들보다 좀더 분급이 양호하고 세립하며, 보다

음의 왜도를 가지거나 상향지점들 보다 좀더 분급이 좋고 조립하며 보다 양의 왜도를 가진다.

Gao and Collins(1992)의 이차원 퇴적물 이동 벡터(transport vector) 모델은 일차원적 모델을 수정[1] · 발전시킨 것이다. 이 모델에서 퇴적물의 이동 작용과 관련된 입도 경향, 천해역에서 시료 채취지점들에 대한 이동 벡터의 정의, 특징적 벡터에서 길이에 기초한 유의도 검증에 대한 분석이 구현되었다. 이 모델은 이론적인 적용의 제한성[2]에도 불구하고 퇴적물 이동 경로를 파악하는 가장 효율적 모델로 이용된다.

3. 이동 벡터 모델의 적용

본 연구의 목적은 돌제를 기준으로 표층 퇴적물의 분포 특성과 이동 경로를 파악하여 현재 돌제 주변의 해안 퇴적 작용의 특성을 파악하는 것이다. 연안 표층 퇴적물 이동 경로를 파악하기 위하여 구조물을 기준으로 연안을 5개의 구역으로 구분하고 연안과 구조물 주변에서 160여 개의 표층 퇴적물 시료를 채취하여 모멘트 통계처리방법(Moment statistics)에 의한 입도 통계치를 산출하였다. 퇴적물의 이동 경로를 파악하기 위하여 Gao and Collins의 이동 벡터 모델(transport vector)을 활용하였다.

시료 채취는 범(berm)과 비치페이스(beach face), 인공 구조물 주변에서 이루어졌다. 범과 비치페이스는 스워시와 백워시에 의한 퇴적물 이동 및 퇴적이 직접적으로 이루어지는 곳으로 역동적인 힘의 작용을 받고 있으므로 퇴적물의 이동 경로를 파악하기 위한 시료 채취가 적합한 곳이다. 범과 비치페이스 지역에서 해안선을 따라 평행 방향으로 등간격 지점에서 채취하였다. 비치페이스 지역은 20m 간격으로, 범 지역은 50m 간격으로 채취하였다. 돌제 주변은 돌제를 기준으로 상단과 하단에서 동시에 채취[3]하였고 돌제를 기준으로 5m 떨어진 상 · 하단의 지점에서 표층 시료를 채취하였다. 채취 지점의 위치 확인은 GPS장비를 사용하였다.

표층 퇴적물의 이동경로를 파악하기 위하여 표층 퇴적물 입도 분포의 통계변수인 평균입도, 분급도, 왜도를 퇴적물의 이동경향벡터(trend vector)를 계산하는데 이용하였다. 정점 A에서 B로 퇴적물이 이동할 때 일어날 수 있는 통계변수들의 경우의 수 중에서 기존 연구자들(McLaren and Bowles, 1985; Gao and Collins[4], 1992; Chu, 2001)에 의해 제안된 바와 같이 다음 두 가지 경우를

---

1) 순차적 퇴적 작용은 그 자체의 이동 작용 때문에 조립화되고 음의 왜도를 나타낼 수 있으므로 이동 양상을 분석하는데 통계적 절차가 요구되며 유의도 검증이 필요하다(Gao and Collins, 1992, 48).

2) 퇴적물 이동이 근원 퇴적물과 공급원 퇴적물 사이의 단방향으로 이루어지며, 해수 유동이 단순한 환경 및 단조로운 지형에서 퇴적물 이동을 설명하는데 적절하다(유규철 외, 1999, 50).

3) Orme의 1980년 연구에서 이용된 실험설계를 참고하여 구조물 주변 시료 채취에 적용하였다.

4) 퇴적물의 90% 이상이 사질로 구성된 조립질 퇴적물이고 설정된 환경 범위가 크지 않아 각 정점간 퇴적 기작의

택하였다.

case 1: $\sigma B \leq \sigma A$, $MzB > MzA$ and $SkB \leq SkA$

case 2: $\sigma B \leq \sigma A$, $MzB < MzA$ and $SkB \geq SkA$

A = A 퇴적물의 정점(경위도 좌표값)

B = B 퇴적물의 정점(경위도 좌표값)

Mz = 평균입도, σ = 분급도, Sk = 왜도

위 두 가지 경우가 이동경향벡터 계산에 사용되었다. 이동경향벡터는 일시적으로 이웃하는 특정 거리(Dcr)를 정한 후, 이 거리 안에 포함되는 정점들에 대하여 각 통계변수들의 비교를 실시한다. 따라서 각 정점들에서는 하나 이상의 경향벡터가 형성될 수 있다. 이러한 모든 경향벡터들에 대한 합을 실시하여 단위길이(unit length)를 가지는 하나의 벡터를 계산한 후, 여기에 내포된 노이즈(noise) 값을 없애기 위하여 특정거리내의 각 정점에서 합산된 벡터들의 평균을 실시하여 최종적인 이동 벡터(transport vector)를 구하였다.

4. 연구 결과

퇴적물의 입도 통계 분포만으로 퇴적 작용 및 그 환경을 이해하는데 한계가 있다. 이동 벡터 모델에 통계 변수를 적용한 결과는 <그림 1>과 같이 퇴적물의 이동 경향을 제시해 준다.

1구역의 해빈 퇴적물은 남북으로 이동하며, 도류제에서는 퇴적물이 북상하는 경향이 뚜렷하였다. 2구역의 남단은 육지쪽과 돌제 주변으로 퇴적 작용이 활발하였고, 북단에서는 육지 퇴적물이 침식하는 경향을 보였다. 3구역의 육지와 돌제 주변에서는 모두 퇴적물이 이동·침식하는 경향을 보였다. 4구역에서 5구역으로 갈수록 퇴적물의 북상 현상이 두드러지게 나타났다.

퇴적물 이동 경로를 보면, 돌제를 중심으로 퇴적물이 외해로 이동하는 현상이 두드러지게 나타난다. 연안 퇴적물이 대체로 북상하지만 돌제 사이의 구역들에서는 퇴적물의 북상 현상이 미약하게 나타난다. 해빈 침식을 방지하기 위해 설치된 돌제 주변에서 육지쪽으로 퇴적물이 이동하는 경향은 거의 보이지 않고 있다. 일반적으로 연안류가 흘러오는 돌제 지점에는 퇴적 작용이 활발하여 돌제의 상·하단이 뚜렷한 지형 형성의 차이를 보이게 된다. 그러나 연구지역의 경우에는 평상시에 연안류를 따라 퇴적물이 북상하는 것을 돌제가 저지하여 외해로 이동하게 하므로 연안류가 흘러오는

영향이 분명하여 주요 이동 기작을 일으키는 수리역학적인 영향이 분명한 동해 연안 환경에서 모델 결과에 대한 신뢰성이 높게 나타난다(유규철과 오재경, 1999, 51).

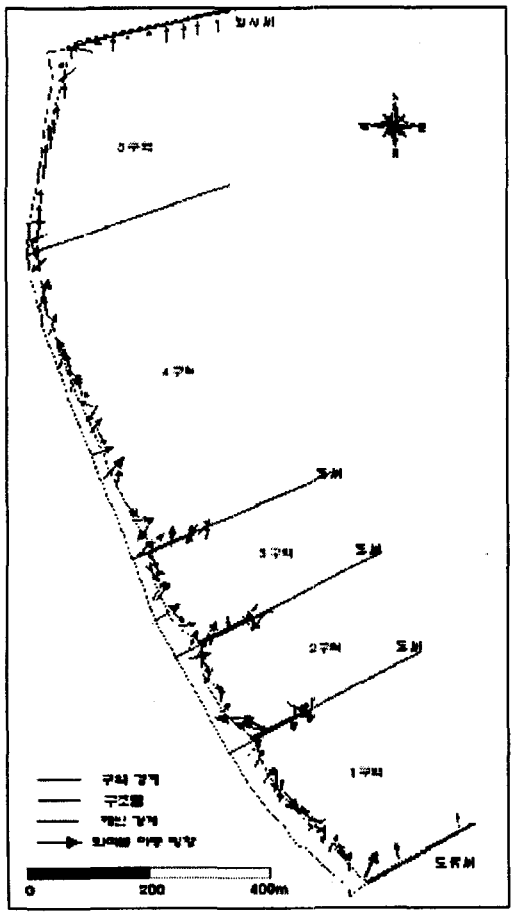
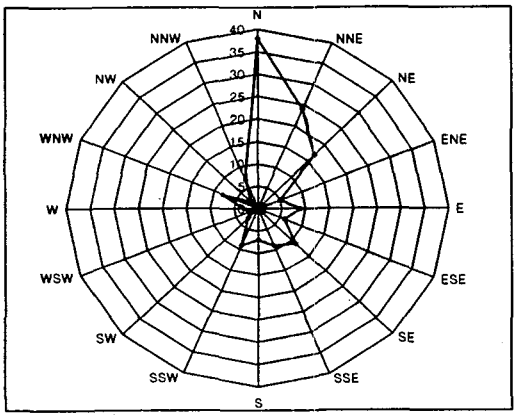


그림 2. 표층 퇴적물 이동 경로



<그림 3> 퇴적물 이동 방향

돌제의 하단에서는 상단에 비해 뚜렷한 퇴적 작용을 보이지 않는다.

도류제 주변 퇴적물은 북쪽 외해로 이동하는데, 도류제가 폭풍과 같은 급격한 지형 형성 작용시에 퇴적물을 가두는 기능을 하지만, 평상시에는 도류제 주변 퇴적물이 외해로 꾸준하게 이동하고 있음을 보여준다. 전체 해빈에서 외해나 방사제쪽으로의 퇴적물 이동이 왕성하여 해빈 침식 현상을 반영하고 있다.특히, 시료 채취 시점이 퇴적 작용이 비교적 왕성한 여름철임에도 불구하고 연구지역에서 침식 작용 우세하게 나타났으므로 침식 작용이 심각함을 알 수 있다.

<그림 2>는 퇴적물 이동 벡터 모델의 결과를 16방위별 빈도 분포로 나타낸 것이다. 퇴적물이 북쪽 방향으로 이동하고 있는 경향이 강하게 나타나고 있으며, 일부 퇴적물이 외해 방향이나 남쪽 방향으로 이동하고 있다. 또한 서쪽(육지쪽)으로 퇴적물이 이동하는 지점은 빈도가 가장 낮게 나타나고 있어 해빈 육지부의 퇴적 작용이 미약한 것으로 나타났다.

이동 벡터 모델로 산출한 퇴적물의 이동 경로는 연안류의 주흐름을 반영하고 있으며, 육지쪽으로의 퇴적 현상이 미약하며 연안에서 이동과 침식 작용만이 주로 나타나는 특성을 반영하였다.

5. 결론

본 연구에서는 역동적인 해안 퇴적 작용을 이해하기 위하여 전통적으로 널리 사용되어온 입도 통계 변수를 산출하였다. 입도 통계 변수의 분포가 지형 작용을 이해하는데 한계가 있으므로, 이동 벡터 모델에 이용하여 지형 작용을 분석하는데 용의한 결과를 산출하였다. 이동 벡터를 산출한 결과는 연안류의 흐름은 물론, 침식 방지를 위한 구조물 주변에서 해빈 퇴적물이 유실되는 현상을 반영하였다. 연안 표층 퇴적물의 입도 특성을 이용한 이동 벡터 모델의 결과는 실제 연안 환경과 퇴적 작용을 이해하는데 유용하게 이용될 수 있다.

■참고문헌

오재경 · 왕경희 · 신기재, 1994, "동서해안 해빈의 퇴적환경에 관한 연구," 한국지구과학회지, 15(2), 91-99.

오재경 · 유규철, 1997, "한반도 동남부 해빈 퇴적물의 조직 변수의 특징," 인하대학교 기초과학연구소 논문집, 18, 87-94.

유규철 · 오재경, 1999, "동해 연안 표층 퇴적물의 이동경로," 한국해안해양공학회지, 11(1), 50-55.

Chu, Y. S., 2001, Sediment dynamics and maintenance processes of linear tidal sand body : Jangan sandbank in the central West coast of Korea, Thesis of Seoul National Univ.

Gao, S. and M. Collins, 1992, Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of 'transport vectors', Sedimentary Geol., 80, 47-60.

McCave, I. N., 1978, Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern English, Mar. Geol., 28, M43-M51.

McLaren, P., and D. Bowels, 1985, The efforts of sediment transport on grain-size distributions, J. Sed. Petrol., 55, 457-470.

Nordstorm, K. F., 1981, Differences in grain size distribution with shoreline position in a spit environment, Northeast, Geol., 3, 252-258.

Orme, A. R., 1980, Energy-sediment interaction around a groin, Zeitshrift fur Geomorphologie, Supplementband, 34, 111-128.

Pettijohn, F. G., and J. D. Ridge, 1932, A textural variation series of beach sands from Cedar Point, Ohio, J. Sediment. Petrol., 2, 76-88.

Pettijohn, F. G., P. D. Potter and R. Siever, 1992, Sand and sandstone, Springer-Verlag(New York).